

Л.В. Владимиров, Р.В. Ставицкий, А.В. Болдин, О.Н. Плаутин, И.М. Лебедеко, В.А. Лыгин, П.А. Тихомиров, А.Б. Блинов

## К ПРОБЛЕМЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ

Метрологическое обеспечение лучевой терапии онкологических больных должно обеспечивать решение основных дозиметрических задач:

- необходимую точность контроля доз рабочего пучка ионизирующего облучения;
- реализацию дозного распределения с заданной погрешностью в объеме облучаемой биологической структуры (опухолевого очага, зон метастазирования и т.д.);
- контроль дозовых нагрузок на окружающие патологический очаг здоровые органы и ткани.

Таков общий принцип дозиметрического обеспечения лучевой терапии, основанный на имеющихся сведениях, получаемых измерительным или расчетным методом. Эта информация доступна для лечебного учреждения и базируется на стандартных методах и средствах измерения доз, дозных полей, расчетов дозиметрических планов облучения путем использования разных математических моделей. Следует подчеркнуть, что применяемые в настоящее время экспериментальные и расчетные методы учитывают стандартные геометрические условия размещения органов и тканей в теле пациента, однако полностью отсутствует учет индивидуальной радиационной чувствительности каждого пациента. Такой стандартизованный подход к дозиметрическому обеспечению лучевой терапии практически вызван отсутствием средств и методов контроля радиационной чувствительности пациентов. Именно такой подход позволил в последнее время резко увеличить требования к метрологическому обеспечению лучевой терапии, т.е. к уменьшению погрешности оценки подводимой дозы излучения до 2 %. При этом решается только техническая задача. Совершенно не учитывается биологический аспект решения проблемы необходимых требований к методике лучевой терапии. Типичной иллюстрацией необходимости учета технической и биологической составляющих решения метрологического обеспечения лучевой терапии являются данные разных стран по результатам лучевого лечения онкологических заболеваний (табл. 1, 2).

В табл. 1 приведены средние статистические данные по результатам лучевой терапии периферийного рака легкого (РОД = 2 Гр, СОД = 45...60 Гр) в клиниках разных стран. Очевидно, что эти результаты, полученные для пациентов, прошедших курс лучевой терапии на установках (гамма-аппараты и ускорители), оснащенных разными техническими средствами (планирование облучения, дозиметрическое обеспечение и др.), сравнительно мало отличаются друг от друга. Еще более показательны данные табл. 2, в которой сопоставляются результаты

пятилетней выживаемости больных разными злокачественными новообразованиями, прошедшими курс лечения в странах СНГ и США [1], [2].

Таблица 1

### Сравнительная оценка результатов лучевой терапии дифференцированной формы периферического рака легкого

Эффект лечения (%)		Источник данных
положительный	отрицательный	
71	29	16
53	47	19
50	50	2
72	28	6
56	44	16
73	27	11
63	37	22
65	35	23

Таблица 2

### Пятилетняя выживаемость (%) больных злокачественными новообразованиями в странах СНГ и США

Локализация	Выживаемость пациентов (%)	
	СНГ, 1995 г.	США, 1986-1991 гг.
Полость рта и глотки	59...61	55
Пищевод	10...12	11
Прямая кишка	40...70	60
Молочная железа	22...65	87
Почки	30...54	59
Желудок (1 стадия)	59...98	57
Легкое (1 стадия)	60...72	48
Меланома кожи	37...77	87
Шейка матки	61...81	71
Тело матки	74...86	85
Яичники	15...66	44

В основном данные табл. 2 показывают, что различие в техническом оснащении средств лечения онкологических заболеваний мало сказывается на эффективности лечения. Очевидно, что несмотря на различие в уровне и технике метрологического обеспечения лучевой терапии в этих странах средняя эффективность проводимого лечения примерно одинакова. Отсюда следует, что в пределах до 15...20 % погрешности оценки дозы облучения биологическая эффективность практически не меняется. Ниже будут приведены обоснования этого положения.

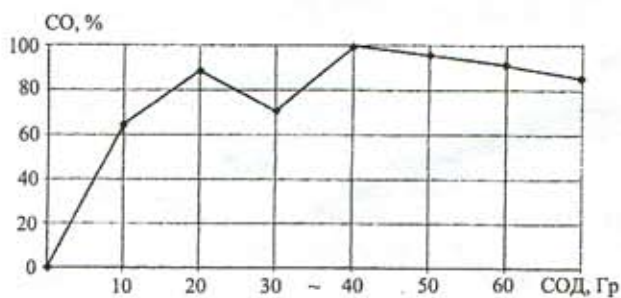


Рис. 2. Динамика изменения состояния организма больного Т. 63-х лет

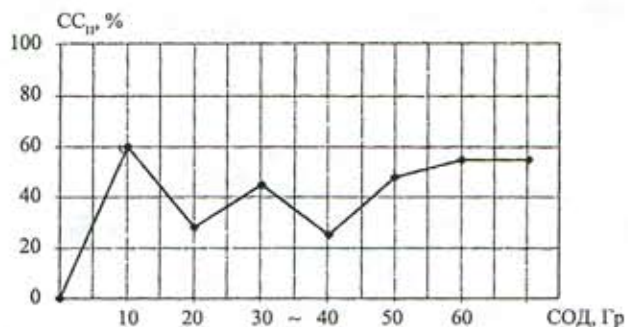


Рис. 3. Динамическое изменение состояния пищеварительной системы при лучевой терапии периферического рака правого легкого больного Т. 63-х лет

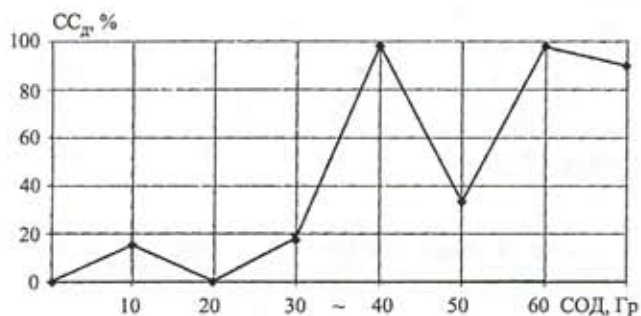


Рис. 4. Динамическое изменение дыхательной системы при лучевой терапии нижней доли периферического рака правого легкого больного Т. 63-х лет

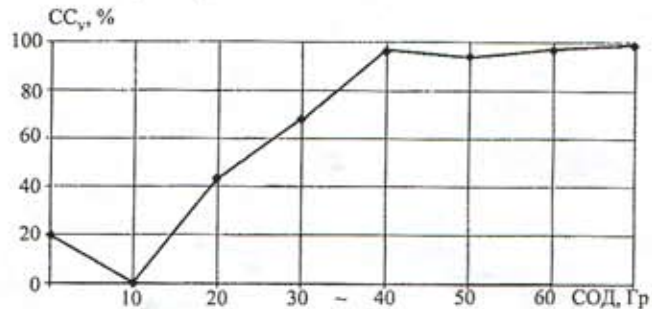


Рис. 5. Динамическое изменение урологической системы больного Т. 63-х лет

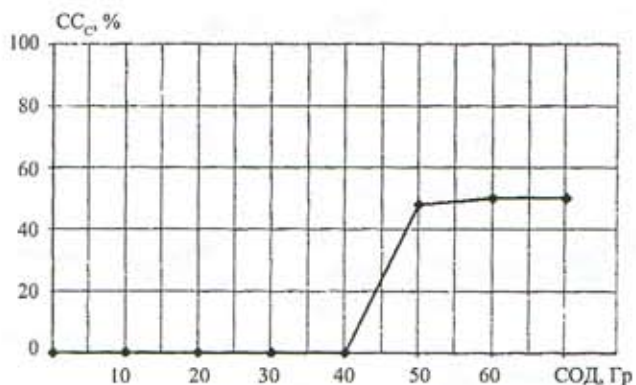


Рис. 6. Динамическое изменение сердечно-сосудистой системы больного Т. 63-х лет

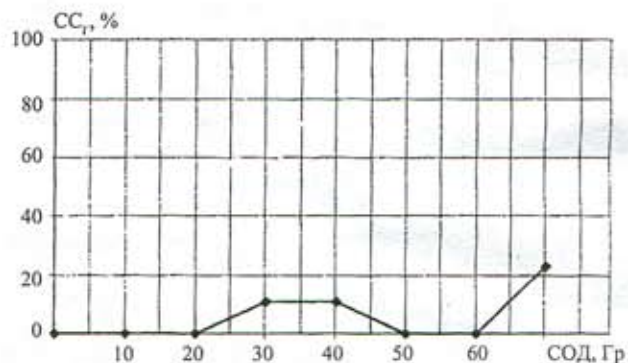


Рис. 7. Динамическое изменение состояния гемопатической системы больного Т. 63-х лет

терапию по поводу периферического рака правого легкого. Возраст, степень заболевания ( $T_2N_0M_0$ ), локализация опухоли, методика лечения (трехпольное облучение) примерно одинаковы. Тем не менее реакция организма совершенно различна. Это различие на остальных этапах лучевой терапии (СОД, Гр) достигает 20...80%. Одновременно с изменением состояния всего организма (рис. 2) происходят существенные изменения в его системах (рис. 3, 4), находящихся вблизи облучаемого очага и на отдалении (рис. 5-7). Полученные данные свидетельствуют о том, что радиационное воздействие на конкретный участок организма (в частности долю правого легкого) вызывает реакцию всего организма и отдельных его систем. При этом сте-

пень реакции в основном зависит от радиационной чувствительности пациента. На эту реакцию оказывает малое влияние высокая точность подведения дозы ионизирующего излучения. Это свидетельствует о необходимости учета ряда технических и биологических требований к условиям проведения курса лучевой терапии онкологических заболеваний:

- выполнение реальных в настоящее время требований к оценке дозы облучения патологического очага (погрешность не выше 6,0...8,0%);
- контроль правильности ориентации первичного пучка излучения относительно патологического очага;
- контроль условий дозиметрического планирования метода лучевой терапии с обеспечением

минимального облучения окружающих патологический очаг органов и тканей.

По существу, это стандартные требования к реализации методов лучевой терапии. Здесь подчеркнута необходимость их выполнения для обеспечения реальных условий реализации курса лечения. К этим требованиям необходимо добавить дополнительные пункты, которые должны быть реализованы на практике, а также являться предметом серьезных научных исследований:

- обязательный контроль состояния организма и его систем в процессе выполнения курса лечения, обеспечивающий, в частности, исключение применения курса при резкой отрицательной реакции (невосприимчивости) организма;
- контроль оценки дозного распределения во всем организме, например с помощью метода Монте-Карло;
- сопоставление дозовых нагрузок на организм и его системы с начальными негативными реакциями на облучение для установления контрольных уровней доз при облучении пациента и его систем.

Последние пункты практически относятся к программе проведения научных исследований, позволяющих перейти от толерантных детерминированных дозовых критериев к реальным сведениям о чувствительности организма и его систем к радиационному воздействию в любых дозах. Такой подход позволяет обеспечить правильное дозиметрическое планирование методик облучения с учетом индивидуальной чувствительности каждого пациента.

*Список литературы:*

1. Колосов А.Е., Захарьян А.Г. Рецидивы злокачественных опухолей и прогноз для больных. – Киров, 1995.
2. Трапезников Н.Н., Аксель Е.М., Бадомина Н.М. Состояние онкологической помощи стран СНГ в 1996 г. – М., 1997.
3. Берланд В.А., Брегадзе Ю.И. // Измерительная техника. 1986. № 4; 1986. № 8.

4. Брегадзе В.А., Исаев Б.М., Масляев П.Ф. // Измерительная техника. 1984. № 8.
5. Брегадзе В.А., Степанов Э.К., Ярына В.П. Прикладная метрология ионизирующих излучений. – М.: Энергостолитиздат, 1990.
6. Количественные критерии оценки эффективности лечения рака молочной железы. Под ред. Р.В. Ставицкого, Г.А. Паньшина. – М., 2007.
7. Периферический рак легкого. Количественная оценка эффективности радикального химио-лучевого лечения. Под ред. Р.В. Ставицкого, Г.А. Паньшина. – М., 2008.
8. Аспекты клинической дозиметрии. Под ред. Р.В. Ставицкого. – М.: МНПИ, 2000.
9. Визуализация в урологической практике. Под ред. А.Д. Каприна, Р.В. Ставицкого. – М.: Вече, 2006.
10. Кровь – индикатор состояния организма и его систем. Под ред. Р.В. Ставицкого. – М.: МНПИ, 1999.
11. Медицинская рентгенология: технические аспекты, клинические материалы, радиационная безопасность. Под ред. Р.В. Ставицкого. – М.: МНПИ, 2003.

*Лев Владимирович Владимиров, д-р техн. наук, зав. сектором, ЗАО НИИИ НПО «Спектр»,*

*Роман Владимирович Ставицкий,*

*д-р биологич. наук, гл. научн. сотрудник,*

*Андрей Викторович Болдин, канд. техн. наук,*

*зам. директора,*

*Олег Николаевич Плаутин, научн. сотрудник,*

*ФГУ РНЦРР,*

*Ирина Матвеевна Лебеденко, д-р биологич. наук,*

*ведущ. научн. сотрудник,*

*ВНПЦ онкологии им. Н.М. Блохина,*

*Владимир Александрович Лыгин,*

*зав. сектором, ЗАО НИИИ НПО «Спектр»,*

*Павел Андреевич Тихомиров,*

*научн. сотрудник, ФГУ РНЦРР,*

*Андрей Борисович Блинов,*

*канд. техн. наук, директор,*

*ООО «Рентген-комплект», г. Москва*